

Perkiraan Tegangan Lewat Denyar Isolator Tegangan Menengah 20 kV Keramik dan Resin Epoksi berdasarkan Data Arus Bocor

Valdi Rizki Yandri^{1*}, Herisajani², dan Fitriadi³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang
*Corresponding Author, email: valdi@pnp.ac.id

Abstract— This paper explains the research results of leakage current data and estimation of flashover voltage on ceramics and epoxy resin as 20 kV outdoor insulator in a chamber with tropical climate conditions. The waveform of leakage current (LC) was measured using a digital oscilloscope. The digital data was transferred to a personal computer using a RS-232 cable. The digital data was analyzed using Fast Fourier Transform. The result showed that LC was affected by various environment conditions like temperature, humidity and pollution. LC of ceramics insulator was higher than epoxy resin insulator in low temperature, high humidity and high pollution condition.

Keywords: outdoor insulator, ceramics, epoxy resin, leakage current, flashover voltage

Abstrak— Makalah ini menjelaskan hasil penelitian tentang data arus bocor dan perkiraan nilai tegangan lewat denyar keramik dan epoksi resin sebagai isolator 20 kV pada lemari uji dengan kondisi iklim tropis. Gelombang arus bocor diukur dengan menggunakan osiloskop digital. Data digital ditransfer ke komputer dengan menggunakan kabel RS-232. Data digital dianalisis dengan menggunakan Transformasi Fast Fourier. Berdasarkan hasil penelitian, arus bocor dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti temperatur, kelembapan dan polusi. Arus bocor pada isolator keramik lebih tinggi daripada isolator resin epoksi pada kondisi temperatur rendah, kelembapan tinggi dan tingkat polusi yang tinggi.

Kata kunci: isolator luar, keramik, resin epoksi, arus bocor, tegangan lewat denyar

© 2019 Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Keramik dan resin epoksi telah banyak digunakan di berbagai bidang. Untuk bidang ketenagalistrikan, keramik dan resin epoksi dapat digunakan sebagai isolator. Agar dapat digunakan secara optimal, karakteristik fisik dan elektrik kedua material ini harus stabil meskipun sudah dipengaruhi penuaan.

Karakteristik elektrik yang akan diuji dalam penelitian ini adalah arus bocor. Berdasarkan hasil pengukuran arus bocor, dapat dianalisis estimasi tegangan lewat denyar dengan menggunakan metoda statistik pada aplikasi SPSS dan Matlab. Karakteristik fisik yang akan diuji adalah hidrofobisitas. Fenomena lainnya yang akan diuji adalah pengaruh *dry band* terhadap kinerja isolator, yang dapat terbentuk akibat polusi dan kelembaban udara. Kedua faktor ini dapat mengakibatkan terjadinya *breakdown* pada isolator. Selain itu, dalam penelitian ini juga dibandingkan beberapa parameter lainnya yang sudah didapat dari produsen isolator.

Dalam penelitian ini, keramik dan resin epoksi diuji karakteristiknya dalam sebuah lemari uji yang dapat diatur kondisinya menjadi seperti pada iklim tropis. Dengan demikian, data-data berkaitan dengan isolator keramik dan resin epoksi bias didapatkan pada beberapa variasi polusi, kelembaban udara dan temperature lingkungan.

II. METODE

Jenis isolator pertama yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolator keramik tipe pin dengan berat 8,2 kg dan komposisi 50% *clay* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 25% silika dan 25% keramik ($4\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$) [1]. Isolator keramik ditunjukkan pada gambar 1. Jenis isolator kedua adalah isolator resin epoksi tipe pin dengan berat 1,8 kg. *Curing agent* dari isolator resin epoksi ini adalah *diamine*. Isolator resin epoksi ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1. Isolator Keramik Tipe Pin untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV



Gambar 2. Isolator Resin Epoksi Tipe Pin untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV

Ukuran lemari uji yang digunakan adalah 90x90x120 cm³ dengan pintu penutup berupa akrilik transparan berukuran 80x80 cm². Temperatur dan kelembaban udara dalam lemari uji dapat diatur sesuai dengan iklim tropis. Temperatur lemari uji divariasikan seperti pada iklim tropis, yaitu 25°C sampai dengan 35°C. Kelembaban udara dalam lemari uji divariasikan pada kondisi kelembaban rendah (50-60%), kelembaban menengah (70-80%) dan kelembaban tinggi (85-98%).

Polutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaolin-garam dengan konduktivitas bervariasi antara 6 mS/cm sampai dengan 36 mS/cm. Standar IEC 507 digunakan sebagai dasar untuk mengatur polusi ini. Arus bocor diukur dengan menggunakan osiloskop digital jenis Textronik TDS 220 dengan digitizer 8 bit, bandwidth 100 MHz dan maximum sampling rate 1 GS/s. Data arus bocor dianalisis dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) untuk mendapatkan Total Harmonic Distortion (THD). THD dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1)$$

Dimana:

I_n : harmonisa ke-n, dengan $n = 2, 3, 4, \dots$

I_1 : harmonisa dasar ($n = 1$)

Berdasarkan data arus bocor, dapat dianalisis korelasi antara arus bocor dengan tegangan uji dengan menggunakan metoda regresi non linear. Analisis selanjutnya adalah dengan metoda diferensial untuk menentukan nilai maksimum sehingga dapat diperkirakan nilai tegangan lewat denyar. Bentuk korelasi antara arus bocor dengan tegangan uji adalah sebagai berikut:

$$I_{leakage} = \alpha V_{testing}^{\beta} \quad (2)$$

where :

α adalah koefisien tegangan uji

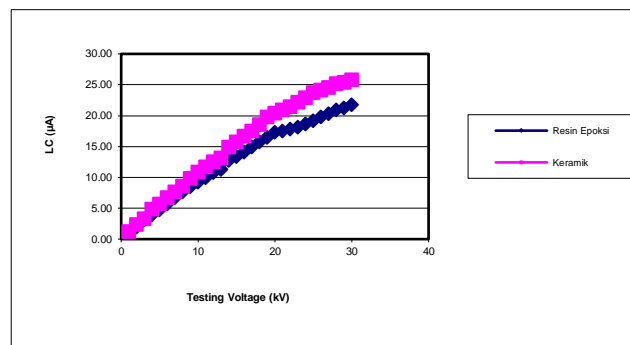
β adalah derajat tegangan uji

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

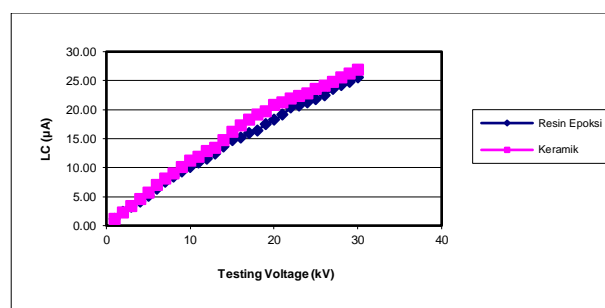
Hasil penelitian dibahas dan dibandingkan dengan hasil penelitian dari artikel yang diacu, jika mungkin.

A. Arus Bocor sebagai Fungsi dari Tegangan Uji

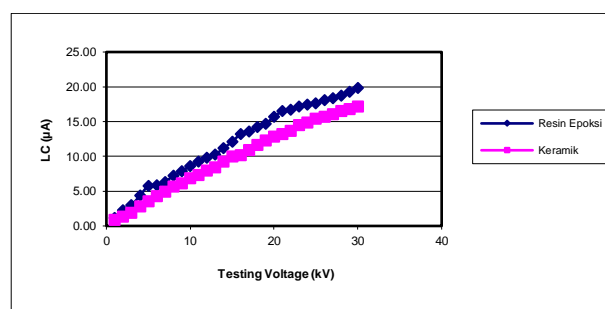
Pada gambar 3, ditunjukkan grafik arus bocor sebagai fungsi dari tegangan uji pada isolator tanpa polutan pada kelembaban rendah dan tinggi. Pada gambar 4, ditunjukkan grafik arus bocor sebagai fungsi dari tegangan uji pada kadar polutan 6 mS/cm pada kelembaban rendah dan tinggi.



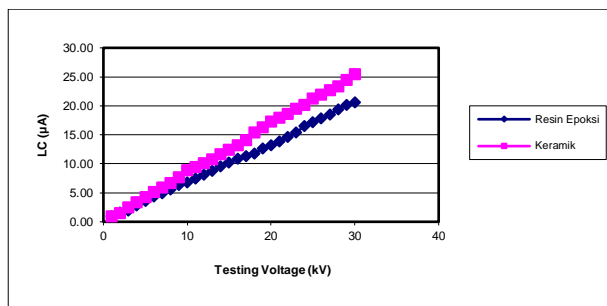
(a) Temperatur 25 °C dan Kelembaban 70-80%



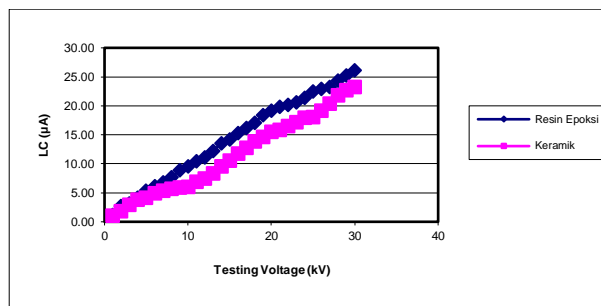
(b) Temperatur 25 °C dan Kelembaban 85-98%



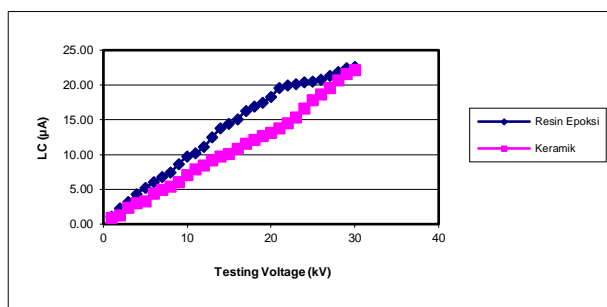
(c) Temperatur 30 °C dan Kelembaban 50-60%



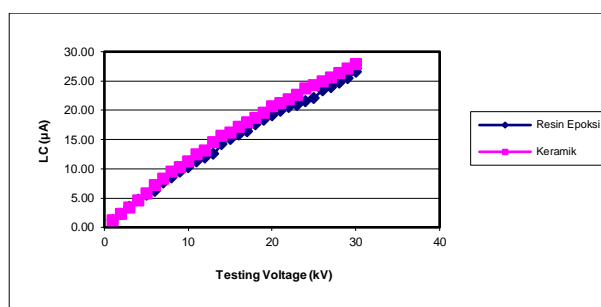
(d) Temperatur 30 °C dan Kelembaban 70-80%



(c) Temperatur 30 °C dan Kelembaban 50-60%

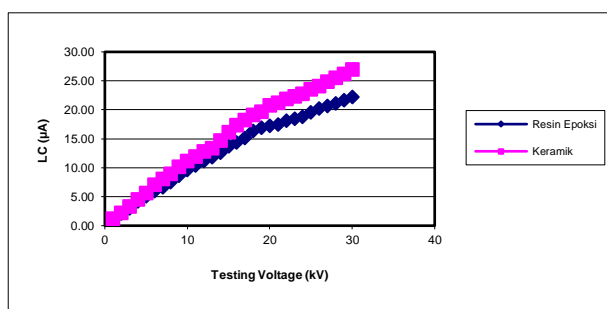


(e) Temperatur 35 °C dan Kelembaban 50-60%

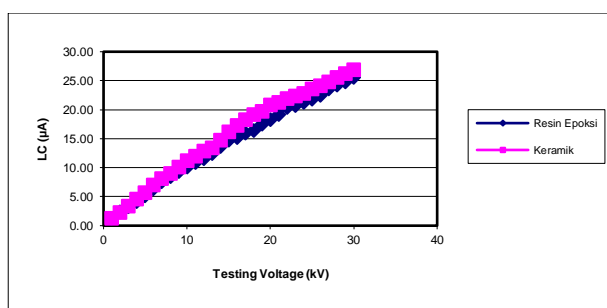


(d) Temperatur 30 °C dan Kelembaban 70-80%

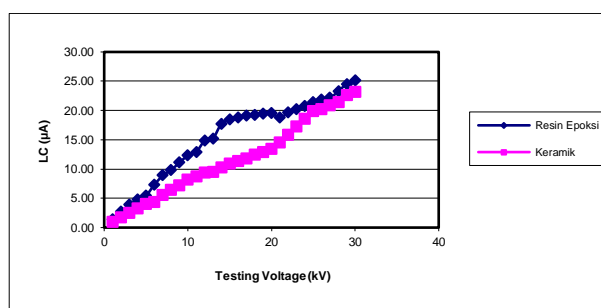
Gambar 3. Grafik Arus Bocor sebagai Fungsi dari Tegangan Uji pada Berbagai Variasi Kondisi Lingkungan untuk Isolator tanpa Polutan



(a) Temperatur 25 °C dan Kelembaban 70-80%



(b) Temperature 25 °C dan Kelembaban 85-98%



(e) Temperatur 35 °C dan Kelembaban 50-60%

Gambar 4. Grafik Arus Bocor sebagai Fungsi dari Tegangan Uji pada Berbagai Variasi Kondisi Lingkungan untuk Isolator yang terkena Polutan

Arus bocor pada isolator keramik pada kondisi tanpa polutan, temperatur 25 °C dan kelembaban 70-80% berkisar antara 1,15 – 22,90 μA sedangkan arus bocor pada isolator resin epoksi berkisar antara 1,08 – 21,90 μA .

B. Estimasi Nilai Tegangan Lewat Denyar

Berdasarkan pada data hasil pengukuran arus bocor, dapat diperkirakan nilai tegangan lewat denyar. Metoda statistik pada aplikasi SPSS dan Matlab dapat digunakan untuk estimasi ini. SPSS dapat digunakan untuk mengetahui bentuk persamaan arus bocor sebagai fungsi dari tegangan uji. Setelah itu, digunakan Matlab untuk menganalisis nilai maksimum arus bocor terjadi pada suatu nilai tegangan uji. Nilai tegangan uji inilah yang menyatakan nilai tegangan lewat denyar.

Berikut ini, ditunjukkan hasil simulasi dengan aplikasi SPSS dan Matlab untuk mendapatkan nilai tegangan lewat denyar isolator keramik dan resin epoksi.

Isolator: keramik

Kondisi: temperatur 30°C ; kelembaban 50-60%

Dengan menggunakan SPSS :

```
Call: lm(formula = lnLC ~ lnTV^3 + lnTV^4,
data = PengolahanKF305060, na.action =
na.exclude)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.05803 -0.03298 -0.00884  0.03731  0.08382
Coefficients:
            Value      Std. Error      t value
Pr(>|t|)
(Intercept)   2.1810      0.0223      97.5979
0.0000
I(lnTV^3)      0.0903      0.0059      15.2449
0.0000
I(lnTV^4)     -0.0147      0.0017      -8.6435
0.0000

Residual standard error: 0.04337 on 27
degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.993
F-statistic: 1921 on 2 and 27 degrees of
freedom, the p-value is 0
```

Dengan menggunakan Matlab:

```
syms logTV
clc;
a = 2.1810;
b = 0.0903;
c = -0.0147;
LC = exp(a + b*logTV^3 + c*logTV^4);
dLC = diff(LC);
FV = exp(solve(dLC));
double(FV)
```

Isolator: keramik

Kondisi: temperatur 25°C ; kelembaban 70-80%

Dengan menggunakan SPSS :

```
Call: lm(formula = lnLC ~ lnTV + lnTV^6,
data = PengolahanK257080, na.action =
na.exclude)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.04615 -0.0134 -0.00323  0.01624  0.06382
Coefficients:
            Value      Std. Error      t value
Pr(>|t|)
(Intercept)   0.1591      0.0202      7.8880
0.0000
lnTV          0.9248      0.0107      86.1133
0.0000
I(lnTV^6)     -0.0001      0.0000      -6.2486
0.0000

Residual standard error: 0.02854 on 27
degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.9986
F-statistic: 9768 on 2 and 27 degrees of
freedom, the p-value is 0
```

Dengan menggunakan Matlab:

```
syms logTV
clc;
a = 0.1591;
b = 0.9248;
c = -0.0001;
LC = exp(a + b*logTV + c*logTV^6);
dIbocor = diff(LC);
FV = exp(solve(dLC));
double(FV)
```

Isolator: resin epoksi

Kondisi: temperatur 35°C ; kelembaban 50-60%

Dengan menggunakan SPSS :

```
Call: lm(formula = lnLC ~ lnTV + lnTV^6,
data = PengolahanD355060, na.action =
na.exclude)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0639 -0.01503 -0.005401  0.0185  0.08715
Coefficients:
            Value      Std. Error      t value
Pr(>|t|)
(Intercept)   0.8828      0.0233      37.8505
0.0000
lnTV          0.9992      0.0124      71.1382
0.0000
I(lnTV^6)     -0.0001      0.0000      -2.5974
0.0150

Residual standard error: 0.033 on 27
degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.9981
F-statistic: 7078 on 2 and 27 degrees of
freedom, the p-value is 0
```

Dengan menggunakan Matlab:

```
syms logTV
clc;
a = 0.8828;
b = 0.9992;
c = -0.0001;
LC = exp(a + b*logTV + c*logTV^6);
dLC = diff(LC);
FV = exp(solve(dLC));
double(FV)
```

Isolator: resin epoksi

Kondisi: temperatur 25°C ; kelembaban 85-98%

```
Call: lm(formula = LC ~ TV + TV^3, data =
PengolahanB258598, na.action = na.exclude)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.4151 -0.1874 -0.0355  0.1587  0.391
Coefficients:
            Value      Std. Error      t value
Pr(>|t|)
(Intercept)   0.5526      0.1267      4.3605
0.0002
TV            0.9481      0.0133      71.2497
0.0000
```

I (TV³) -0.0001 0.0000 -9.6149
0.0000

Residual standard error: 0.2471 on 27
degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.9989
F-statistic: 12740 on 2 and 27 degrees of
freedom, the p-value is 0

Dengan menggunakan Matlab:

```
syms TV
clc;
a = 0.5526;
b = 0.9481;
c = -0.0001;
LC = a + b*TV + c*TV^3;
dLC = diff(LC);
FV = solve(dLC);
double(FV)
```

Keterangan:

TV : tegangan uji

LC : arus bocor

FV : tegangan lewat denyar

Berdasarkan simulasi ini, didapatkan bahwa estimasi nilai tegangan lewat denyar per *creepage distance* untuk isolator keramik adalah 0,2 kV/mm pada kelembaban rendah dan 0,15 kV/mm pada kelembaban tinggi. Estimasi nilai tegangan lewat denyar per *creepage distance* untuk isolator resin epoksi adalah 0,2 kV/mm pada kelembaban rendah dan 0,14 pada kelembaban tinggi. Kedua nilai estimasi ini tidak jauh berbeda dengan data nilai tegangan lewat denyar dari produsen kedua isolator ini.

IV. KESIMPULAN

Setelah karakteristik isolator keramik dan resin epoksi didapat, hasil pengukuran arus bocor dan perkiraan tegangan lewat denyar dibandingkan. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa isolator keramik lebih cocok digunakan untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) di daerah dengan kelembaban udara yang rendah. Isolator resin epoksi lebih cocok digunakan untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) di daerah dengan kelembaban udara yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kepala Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Institut Teknologi Bandung yang telah mengizinkan untuk menggunakan beberapa alat uji.

References

Journal:

- [1] Ali N. Jahromi, A Neural Network Based Method for Leakage Current Prediction of Polymeric Insulators. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2007.
- [2] Ayman H El-Hag. Fundamental and Low Frequency Harmonic Components of Leakage Current as a Diagnostic Tool. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2003.
- [3] Chou, Chih-Ju. Distribution of Earth Leakage Currents in Railway Systems with Drain Auto-Transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2006.
- [4] Devendranath, D. Leakage Current and Charge in RTV Coated Insulators Under Pollution Conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2002.
- [5] Masahisa Otsubo. Evaluation of Insulation Performance of Polymeric Surface using a Novel Separation Technique of Leakage Current. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2006.
- [6] M.A.M. Piah. Modeling Leakage Current and Electric Field Behavior of Wet Contaminated Insulators. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2002.
- [7] Suwarno. Leakage Current Waveforms of Outdoor Polymeric Insulators and Possibility of Application for Diagnostics of Insulator Conditions. *Journal of Electrical Engineering & Technology*. 2006; Vol. 1, No. 1, pp. 114~119.
- [8] Tomotaka Suda. Frequency Characteristics of Leakage Current Waveforms of a String of Suspension Insulators. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2005.
- [9] Yong-Kwan Park. Leakage Current Monitoring and Outdoor Degradation of Silicone Rubber. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2001.

Textbooks:

- [1] L. Tobing, Bonggas. High Voltage Equipment. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama. 2003.
- [2] Sopyan, Iis. Polymeric Chemistry. Jakarta : Pradnya Pramita. 2001.
- [3] Vosloo, Wallace L. The Practical Guide to Outdoor High Voltage Insulators. London : Crown Publications. 2004.

Thesis/Disertation:

- [1] A. Andang. The Effect of Silicon Layer Thickness and Viscosity at Post Pin 20 kV Ceramics Insulator Performance in Various Environment Conditions. Thesis. Bandung, ITB; 2006.
- [2] D. Permasari, Leakage Current Characteristics at 20 kV Ethylene Propylene Outdoor Insulator in Various Environment Conditions. Final Project. Bandung, ITB; 2002.
- [3] Juniko Parlinggoman Parhusip, Performance of Ceramics Insulation Material as High Voltage Insulator in Various Environment Conditions. Final Project. Bandung, ITB; 2006.
- [4] Melda Latief. Performance of Epoxy Resin as 20 kV Outdoor in some Environment Condition. Thesis. Bandung, ITB; 2006.
- [5] Sigit Kusumawan Ardianto. Performance of Epoxy Resin Insulation Material as High Voltage Insulator in Various Environment Conditions. Final Project. Bandung, ITB; 2006.